Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 409-422

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۲۲-۴۰۹

نشریه علمی-پژوهشی

توانایی زغال‌زیستی اشباع شده با آهن در عرضه آهن و رفع کلروز آهن سویا در یک خاک آهکی

جلال الدین خال‌لی زاده[1]- اسماعیل دردی پور[2]*- مجتبی بارانی مطلق[3]- عبدالرضا قرنجیکی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۳۰

چکیده

از بین عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاهان، آهن محدودیت‌های فراوانی را برای محصولات کشاورزی به خصوص در خاک‌های آهکی ایجاد کرده است. به منظور بررسی اثر زغال‌زیستی اشباع شده با آهن در عرضه آهن و رفع کلروز آهن سویا در یک خاک آهکی آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی و با چهار تکرار انجام شد. تیمارها شامل زغال‌های‌زیستی اشباع نشده (زغال‌زیستی کاه‌گندم (WB) و زغال‌زیستی نئوپان (PB) هر کدام ۲/۵ درصد وزنی)، و زغال‌های‌زیستی اشباع شده (زغال‌زیستی اشباع شده کاه‌گندم (Fe-IWB1) ۲/۵ درصد وزنی، زغال‌زیستی اشباع شده کاه‌گندم (Fe-IWB2) ۵ درصد وزنی، زغال‌زیستی نئوپان اشباع شده (Fe-IPB1) ۲/۵ درصد وزنی و زغال‌زیستی اشباع شده نئوپان (Fe-IPB2) ۵ درصد وزنی)، و کود آهن از منبع سکوسترین آهن (S) و خاک شاهد بدون آهن و زغال‌زیستی (C) بر روی دو رقم سویا (ویلیامز و سامان) بود. نتایج نشان داد با افزایش میزان مصرف زغال‌های‌زیستی اشباع شده با آهن غلظت آهن فعال خاک، غلظت و جذب آهن فعال و شاخص کلروفیل در برگ‌های بالایی گیاه افزایش معنادار یافت (P≤ ۰/۰۵). اما زغال‌های‌زیستی اشباع نشده با آهن غلظت آهن فعال خاک و گیاه و شاخص کلروفیل برگ را نتوانست افزایش معنادار دهد. همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری بین غلظت آهن فعال با شاخص کلروفیل برگ (r=۰/۸۸**) و عملکرد ماده خشک سویا (r=۰/۸۷**) وجود داشت. بنابراین، زغال‌زیستی اشباع شده با آهن قادر به عرضه آهن کافی و رفع کلروز آهن سویا در یک خاک آهکی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اشباع سازی، آهن، زغال‌زیستی، سویا، کلروز

مقدمه

آهن برای انجام فرآیندهای بی‌شماری در سلول‌های گیاهی و جانوری ضروری می‌باشد. آهن با تغییر ظرفیت و انتقال الکترون نقش بسیار مهمی در متابولیسم گیاهی دارد. ترکیب آهن و پروتوپرفیرین[5]، هم[6] را تشکیل می‌دهد. هم پیش ماده تولید کلروفیل بوده و با جایگزینی آنزیمی منیزیم با آهن در هم، کلروفیل پدید می‌آید. کمبود آهن یکی از نارسایی‌های مهم تغذیه‌ای در گیاهان به‌ویژه در شرایط خاک‌های آهکی است و به شدت عملکرد و کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خاک‌های آهکی بیش از ۳۰ درصد از سطح اراضی را بخصوص در مناطق نیمه خشک می‌پوشانند (۷). در خاک‌های آهکی غلظت بالای بی‌کربنات در محلول خاک، مسئول اصلی زردی القا شده توسط آهک است (۲۴). در بسیاری از موارد آهن کافی از ریشه به برگ‌ها منتقل می‌شود ولی این کارآیی آهن در برگ است که نقش اصلی در ایجاد علائم کلروز را بازی می‌کند. در چنین شرایطی میزان آهن کل در برگ‌های دارای کلروز، ممکن است هم‌اندازه و یا حتی بیشتر از برگ‌های سبز باشد (۴۲). آهن تنها عنصری است که در بیشتر موارد ارتباطی بین غلظت آن در بافت گیاه و میزان کمبود آن مشاهده نمی‌شود. این پارادوکس، موجب شده که به‌جای محاسبه

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: e.dordipour@yahoo.com)
۴- استادیار مؤسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v34i2.81960

5- Protoporphyrin
6- Heme

آهن کل، میزان آهن فعال[1] و کلروفیل برگ روش‌های مناسب‌تری برای ارزیابی کمبود آهن در گیاه باشد (۲). پر کاربردترین کود حاوی آهن در خاک‌های آهکی سکوسترین آهن می‌باشد. استفاده از ترکیبات کلات کننده علاوه بر فراهمی آهن و کاهش کلروز آن در گیاهان تاثیرات جانبی نیز دارند. افزایش فراهمی فلزات سنگین، اثرات آنتی بیوتیکی برای قارچ‌های همزیست، پایداری طولانی این ترکیبات در محیط و عدم تخریب‌پذیری آن موجب مخاطرات زیست محیطی می‌شود. این معایب در کنار گرانی کلات کننده‌ها موجب شده تا راهکارهای مدیریت زراعی، به نژادی و استفاده از کودهای کندرها در سال‌های اخیر به عنوان روش‌های جایگزین پیشنهاد گردد (۲۸). یکی از جدیدترین ابداعات، که امید تازه‌ای در توسعه کشاورزی ایجاد کرده، استفاده از زغال‌زیستی است. زغال‌زیستی، ماده جامد غنی از کربن آلی است که می‌تواند از آتشکافت انواع موادآلی حاصل شود. به عبارت دیگر زغال‌زیستی از تخریب بسیاری از مواد آلی (زیست‌توده گیاهی، فضولات جانوری، لجن فاضلاب و ...) در شرایط عدم وجود یا کمبود اکسیژن ایجاد می‌شود و در مقابل تجزیه میکروبی، ماندگاری چندین ساله پیدا می‌کند (۲۰). زغال‌زیستی دارای پتانسیل بازیافت عناصر غذایی، تهویه خاک، مدیریت سیستم پسماند و عاملی بلند مدت برای ترسیب اقتصادی و مطمئن کربن است. از دیگر اثرات سودمند کاربرد زغال‌زیستی در خاک‌های کشاورزی به افزایش ماده‌آلی خاک، بهبود نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تعامل با چرخه عناصر غذایی خاک از طریق تعدیل pH خاک، افزایش سطح حاصلخیزی خاک و کاهش آبشویی عناصر غذایی افزایش کارآیی استفاده عناصر غذایی می‌توان اشاره کرد (۱۹). همچنین، اختلاط کودها با زغال‌زیستی و اصلاح کننده‌های خاک، کارآیی کود را افزایش می‌دهد (۲۷). مواد آلی از جمله زغال‌زیستی پتانسیل بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را دارند و منجر به تحرک و فراهمی بیشتر آهن می‌شود (۴۳). ساپادیت و همکاران (۳۹)، گزارش دادند افزودن زغال‌زیستی به خاک زیر کشت سویا خصوصیات شیمیایی و فراهمی عناصر غذایی خاک را بهبود بخشید. تاگویی و همکاران (۴۰)، گزارش دادند با افزودن زغال‌زیستی کود مرغی عملکرد وزن خشک و شاخص کلروفیل گیاه سویا در طول فصل رشد نسبت به خاک شاهد افزایش یافت. رمضانی و همکاران (۳۲)، گزارش کردند کاربرد زغال‌زیستی به همراه سولفات آهن باعث کاهش pH خاک، انحلال، احیاء و جذب بیشتر آهن و در نهایت باعث افزایش شاخص کلروفیل و رشد گیاه شد. هدف از این تحقیق بررسی اثر زغال‌های‌زیستی اشباع شده با آهن بر فراهمی آهن و توانایی آن‌ها در رفع کلروز آهن در دو رقم سویا در خاکی با پتانسیل بالای کلروز آهن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری و آماده سازی خاک: خاک مورد استفاده در این آزمایش از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری که دارای آهک بالا و دچار کمبود آهن بود از شرق استان گلستان نمونه برداری گردید. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است.

تولید زغال‌زیستی و تعیین ویژگی‌های آن: زغال‌های‌زیستی مورد استفاده حاصل از دو نوع ماده آلی اولیه شامل کاه‌گندم و نئوپان بود که از طریق گرماکافت آهسته (افزایش ۵ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه) در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت در شرایط اکسیژن محدود در یک کوره الکتریکی تهیه شد (۲۵). برخی از خصوصیات اندازه‌گیری شده زغال‌های‌زیستی تولیدی در جدول ۲ آمده است. پ‌هاش در سوسپانسیون ۱:۲۰ زغال‌زیستی به آب مقطر (۳۸)، هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۱۰ زغال‌زیستی به آب مقطر (۴۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش اصلاح شده استات آمونیوم نرمال پ‌هاش خنثی (۱۱)، عملکرد و خاکستر (۳۶) و مقادیر کربن، هیدروژن و نیتروژن توسط دستگاه CHN Analyzer (مدل DCS 4010) اندازه‌گیری شد. مقدار آهن فراهم زغال‌زیستی با DTPA ۰/۰۰۵ مولار با نسبت ۱:۱۰ عصاره گیری (۲۱) و با دستگاه جذب اتمی (Unicam 919A) اندازه‌گیری شد. به منظور شناسایی گروه-های عاملی سطحی زغال‌های‌زیستی، از دستگاه اسپکتروسکوپ FTIR (PerkinElmer RX1) استفاده شد. همچنین از سطح زغال‌های‌زیستی قبل و بعد از اشباع سازی با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM TESCAN-MIRA) عکس تهیه گردید.

اشباع‌سازی زغال‌های‌زیستی با آهن: زغال‌های‌زیستی با استفاده از آهن اشباع سازی شدند. بدین منظور ابتدا سطح زغال‌های‌زیستی چندین بار با آب مقطر شستشو شد، سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون در حرارت ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد. پنج گرم از زغال‌زیستی در یک لیتر محلول حاوی ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آهن (II) که از نمک $Fe_2SO_4.7H_2O$ تهیه شده بود غوطه‌ور شد. پ-هاش محلول با استفاده از HCl و NaOH ۰/۱ مولار روی ۶ تنظیم شد. مخلوط زغال‌زیستی و محلول آهن (II) به مدت ۲۴ ساعت با دور (rpm/min) ۱۲۰ تکان داده شد. سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و زغال‌های‌زیستی برجامانده با آب مقطر چندین بار شستشو گردید تا آهن آزاد سطح زغال‌های‌زیستی حذف شود (۳۴).

1- active iron

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منتخب خاک مورد استفاده
Table 1- Some selected physical and chemical characteristics of the soil

نام منطقه Region of soil	پ-هاش pH_s	شوری EC_e	ظرفیت‌تبادل-کاتیونی CEC	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	آهن فراهم Ava.Fe	کربن آلی OC	آهک lime	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	بافت Soil texture
		$dS\ m^{-1}$	$cmol_{(+)}kg^{-1}$	%		$mg\ kg^{-1}$				%			
آق‌امام Agh Emam	7.8	0.8	15.5	0.06	4.5	90	3.42	0.94	17	22.5	63	14.5	لوم سیلتی Silt loam

جدول ۲- برخی از خصوصیات زغال‌های‌زیستی تولید شده
Table 2- Some properties of the produced biochars

زغال‌زیستی Biochar	پ‌هاش pH	شوری EC	ظرفیت‌تبادل‌کاتیونی CEC	آهن فراهم Ava.Fe	کربن C	هیدروژن H	نیتروژن N	اکسیژن** O	عملکرد Yield	خاکستر Ash
		$dS\ m^{-1}$	$cmol_{(+)}kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$				%		
کاه‌گندم Wheat straw	6.9	3.07	108.5	20.12	52.2	4.3	N.D.*	15.1	51.2	28.4
نئوپان Particleboard	6.2	3.25	60.7	20.20	55.8	4.5	N.D.	27.7	71.4	12.0

N.D.: Not Detected ناچیز، شناسایی نشد.

** محاسبه شده از طریق تفاوت درصد مقدار خاکستر، کربن، هیدروژن و نیتروژن از کل ماده. Determined by subtraction of ash, C, H and N from total mass.

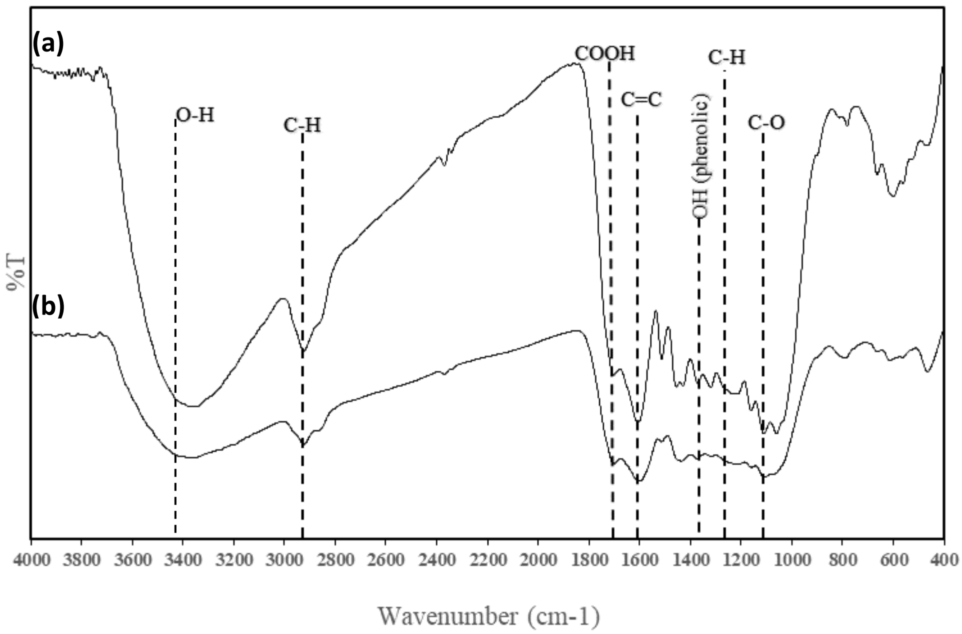
طرح آماری و کشت گلخانه‌ای: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با چهار تکرار انجام گردید. فاکتور اول شامل زغال‌های‌زیستی (زغال‌زیستی کاه‌گندم (WB) و زغال‌زیستی نئوپان (PB) با ۲/۵ درصد وزنی)، زغال‌های‌زیستی اشباع شده (زغال‌زیستی اشباع شده کاه‌گندم ۲/۵ درصد وزنی (Fe-IWB1) و ۵ درصد وزنی (Fe-IWB2)، زغال‌زیستی نئوپان اشباع شده ۲/۵ درصد وزنی (Fe-IPB1) و ۵ درصد وزنی (Fe-IPB2))، کود سکوسترین آهن (۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (S) و تیمار شاهد (C) و فاکتور دوم سویا (*Glycine max*) با دو رقم ویلیامز و سامان تهیه شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشارزی و منابع طبیعی استان گلستان بود. تعداد ۱۰ عدد بذر سویا در گلدان‌های ۵ کیلوگرمی کشت شد. پس از سبز شدن و استقرار گیاهان تعداد بوته‌ها به ۳ بوته در هر گلدان کاهش داده شد. عناصر ضروری بر اساس نتیجه آزمون خاک، فسفر به مقدار ۴۰ میلی‌گرم برکیلوگرم از منبع سوپر فسفات تریپل (TSP) و پتاسیم به مقدار ۱۰۰ میلی‌گرم برکیلوگرم از منبع کلرید پتاسیم (KCl) به صورت پیش کشت و نیتروژن به مقدار ۷۵ میلی‌گرم برکیلوگرم از منبع اوره $[CO(NH_2)_2]$، یک مرتبه پیش کشت و دومرتبه در طول فصل رشد گیاه به صورت سرک همراه با آبیاری به گلدان‌ها اضافه گردید. رطوبت گلدان‌ها در طول فصل رشد با استفاده از آب مقطر و به روش توزین در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. همچنین جهت حذف اثرات محیطی در طول دوره رشد موقعیت گلدان‌ها دو بار در هفته به‌صورت تصادفی تغییر داده شدند. بعد از گذشت ۱۲ هفته، ابتدا شاخص کلروفیل (SPAD) برگ‌های بالایی و برگ‌های پایینی به صورت مجزا با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (Minolta SPAD-502) اندازه‌گیری شد. سپس گیاه به صورت کف‌بر برداشت و پس از خشک کردن (۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد در آون) توزین شد. غلظت آهن فعال در برگ‌های بالایی و پایینی با استفاده از اُ–فنانترولین[1] (۱۵) و مقدار آهن فعال خاک پس از برداشت با استفاده از عصاره‌گیر هیدروکسیل آمین هیدرو کلراید (۹) اندازه‌گیری گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین‌های مربوط به اثر تیمارهای اصلی و برهم‌کنش آن‌ها با آزمون حداقل فاصله معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد بررسی شد. همچنین نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

1- O - phenantroline

نتایج و بحث

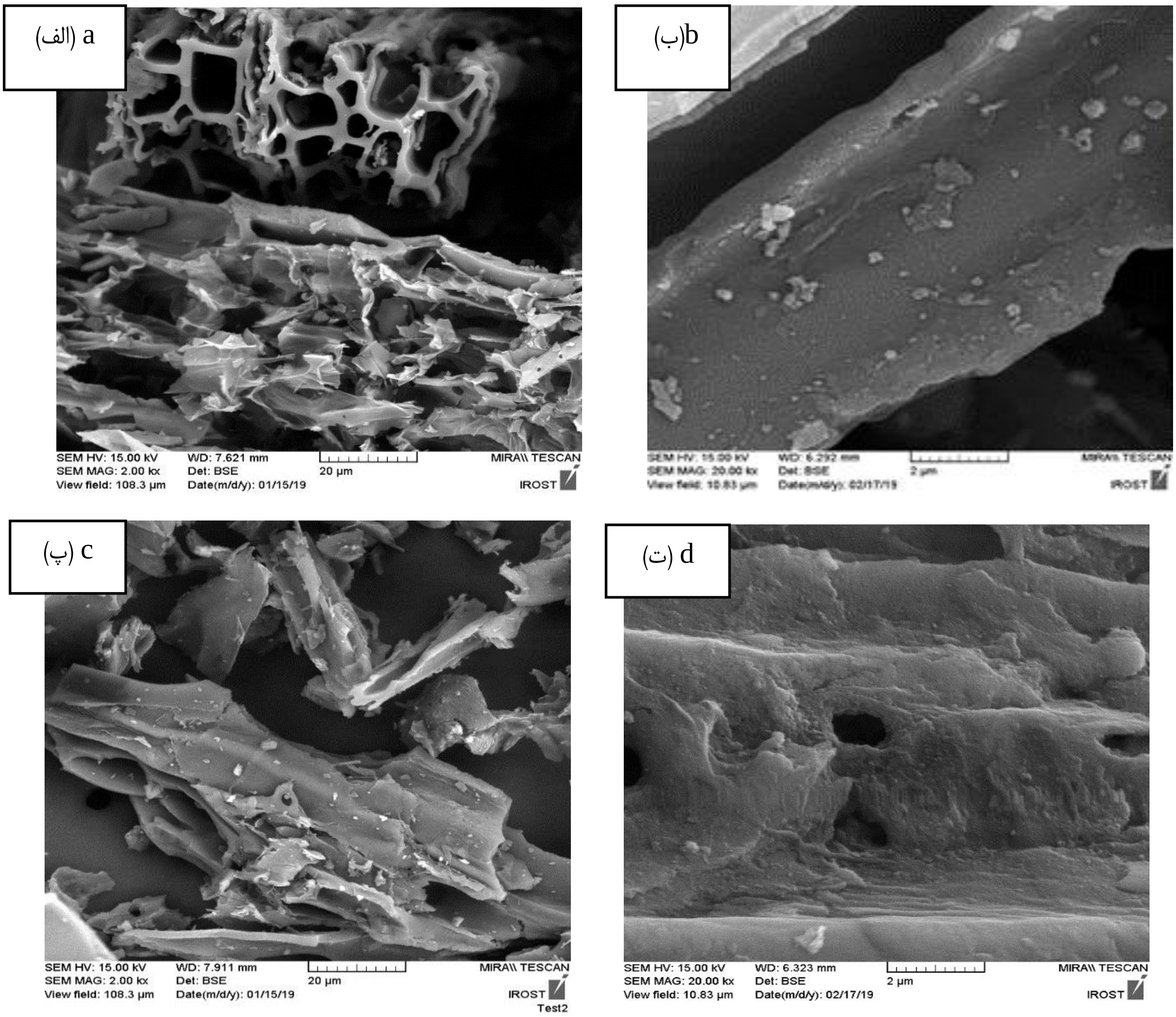
مشخصات گروه‌های عامل سطوح زغـال‌هـای‌زیسـتی: بـه منظور شناسایی گروه‌های عامل سطح زغال‌های‌زیستی، طیف FTIR در گستره طول موج cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ گرفتـه شـد. شـکل ۱ طیـف زغال‌زیستی کاه‌گندم (a) و زغال‌زیستی نئوپان (b) را نشان می‌دهـد. پیک در محدوده طول موج cm^{-1} ۳۲۰۰-۳۴۰۰ مربوط به ویژگی‌های آب درون شبکه‌ای و ارتعاشات کششـی گـروه عـاملی هیدوروکسـیل (OH-) می‌باشد (۸). پیک در محدوده طول مـوج cm^{-1} ۲۸۸۵-۲۹۲۰ به ارتعاشات کششـی آلیفاتیـک (C-H) اختصـاص دارد (۵). پیـک در طول موج cm^{-1} ۱۷۰۰ مربوط به گروه عاملی کربوکسـیل (COOH) (۸) و پیک در دامنه cm^{-1} ۱۵۹۰-۱۶۴۱ مربوط به ارتعاشـات کششـی پیوند دوگانه کربن حلقه آروماتیک (C=C) می‌باشد (۴ و ۸). پیـک در محدوده cm^{-1} ۱۲۷۰-۱۳۷۵ مربوط به گروه عاملی هیدروکسیل فنلـی (Phenolic-OH) می‌باشـد کـه علـت آن حـرارت دیـدن واحـدهای متشکل از لیگنین است (۲۹). پیـک در محـدوده cm^{-1} ۱۱۸۵-۱۲۷۰ مربوط به ارتعاشات کششی (C-O) و پیک در محدوده cm^{-1} ۱۰۳۰-۱۱۸۰ مربوط بـه ارتعاشـات آروماتیـک (C-H) مـی‌باشـد (۱۶ و ۲۹). گروه‌های عاملی ذکر شـده در هـر دو زغـال‌زیسـتی مشـترک بودنـد. کربوکسیل، هیدروکسیل فنلی و دیگر گـروه‌هـای عـاملی کـه شـامل اکسیژن‌های سطحی هستند، زغال‌زیستی را قادر مـی‌سـازند تـا آهـن بیشتری را بر روی سطوح تبادلی خود جذب کنـد. گـروه‌هـای عـاملی موجود بر روی سطوح زغال‌زیستی و بار منفـی آن‌هـا باعـث افـزایش ظرفیت تبادل کاتیونی آن می‌شوند (۴۵).

تصاویر سطحی میکروسکوپ الکترونــی روبشــی: تصـاویر SEM تهیه شده از سطح زغال‌های‌زیستی قبل و بعد از اشباع سـازی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (شکل ۲) نشان مـی‌دهـد که سطح زغال‌زیستی کاه‌گندم قبل از اشـباع سـازی (a) دارای منافـذ (تخلل) فراوان با اندازه کوچک می‌باشد و سـاختار لانـه زنبـوری دارد. ولی سطح زغال‌زیستی نئوپان قبل از اشباع سازی (c) دارای خلل‌وفرج کمتر ولی با اندازه بزرگتر می‌باشد. همچنین سطح هر دو زغال‌زیستی قبل از اشباع سازی صاف و شفاف می‌باشد. توانایی زغال‌های‌زیسـتی در جذب عناصر به ساختار و شـکل منافـذ سـطح آن‌هـا بسـتگی دارد (۱۴). افزایش تخلخل زغال‌زیستی در ارتباط نزدیکی با سطح ویـژه و ظرفیـت تبـادل کـاتیونی بیشـتر آن اسـت (۴۴). همچنـین تخلخـل زغال‌زیستی برای کاربردش در خـاک بـویژه بـرای افـزایش ظرفیـت نگهداری آب در خاک، نگهداری عناصر غذایی و پناهگاه ریزجانـداران خاک مفید است و کارآیی استفاده کود را افزایش می‌دهـد (۳۱). ولـی سطوح زغال‌زیستی کاه‌گندم (b) و نئوپان (d) بعد از اشـباع سـازی بـا آهن به صورت برجسته و کدر مشـاهده مـی‌شـود. ایـن تغییـر شـکل سطوح زغال‌های‌زیستی پس از اشباع‌سازی دلالت بر جذب سطحی یا انباشتگی آهن در سطح آن‌ها دارد (۳۱، ۳۴).



شکل ۱- طیف FTIR زغال‌زیستی کاه گندم (الف) و زغال‌زیستی نئوپان (ب)

Figure 1- FTIR spectra of wheat straw biochar (a) particle board biochar (b)



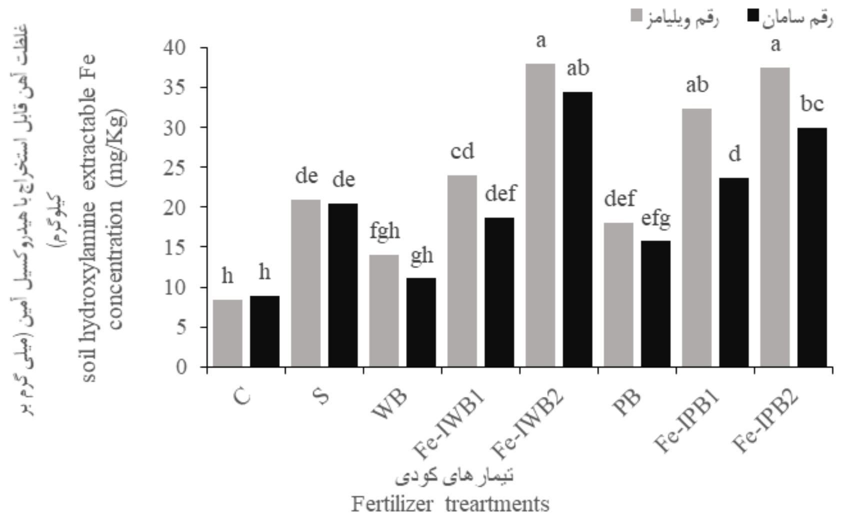
شکل ۲- عکس‌های SEM از سطح زغال‌زیستی کاه‌گندم (الف)، زغال‌زیستی کاه‌گندم اشباع شده با آهن (ب)، زغال‌زیستی نئوپان (پ)، زغال‌زیستی نئوپان اشباع شده با آهن (ت)

Figure 2- SEM images from surface of wheat straw biochar (a), Fe impregnated wheat straw biochar (b), particle board biochar (c), and Fe impregnated particle board biochar (d)

غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین خاک پس از برداشت: مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که مقدار آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین تحت تأثیر برهم کنش رقم و کود بطور معنی‌داری قرار گرفته است (شکل ۳). بطوری‌که در خاکی که رقم ویلیامز کشت شده بود روند افزایش آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین در تیمارهای زغال‌زیستی نئوپان بیشتر از خاکی است که رقم سامان کشت شده است. همچنین غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین در خاکی که در آن رقم ویلیامز کشت شده است در تمام تیمارهای کودی بیشتر از خاکی است که در آن رقم سامان کشت شده‌اند. البته این امر احتمالا می‌تواند بدلیل جذب آهن (شکل ۷) کمتر این رقم باشد، چون ویلیامز رقم حساسی به کمبود آهن می‌باشد. بیشترین غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین خاک در تیمارهای Fe-IWB2 و Fe-IPB2 در هر دو رقم بود. کمترین غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین را تیمار C داشت. همه تیمارهای کودی غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین خاک را نسبت به خاک شاهد افزایش دادند. این افزایش به‌ترتیب بصورت زغال‌های‌زیستی اشباع شده ۵٪ > اشباع شده ۲/۵٪ > اشباع نشده ۲/۵٪ برای هر دو نوع زغال‌زیستی در هر دو رقم سویا بود. زغال‌های‌زیستی اشباع شده ۲/۵ و ۵ درصد، غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین خاک را بیشتر از تیمار سکوسترین آهن افزایش دادند ولی از میان دو تیمار زغال‌زیستی اشباع نشده تنها زغال‌زیستی اشباع نشده نئوپان مشابه تیمار سکوسترین آهن، غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین خاک را افزایش معنادار داد. افزایش آهن قابل استخراج با هیدروکسیل

آمین در تیمار سکوسترین نسبت به شاهد می‌تواند ناشی از قدرت کلات کنندگی سکوسترین باشد. در تیمارهای زغال‌زیستی این افزایش احتمالا می‌تواند به دو دلیل باشد. با توجه به مقدار بالای کربن آلی در زغال‌زیستی (جدول ۲) تجزیه آن در طول رشد گیاه احتمالا باعث تولید ترکیبات آلی با قدرت کلات کنندگی بالا مثل اسیدهیومیک و اسید فولیک شده باشد ثانیا در تیمارهای زغال‌زیستی که با آهن اشباع سازی شده است (که شکل ۲ ب و ت نیز مؤید آن است)، آزاد سازی آهن از سطوح آن‌ها باعث افزایش بیشتر آهن قابل استفاده در خاک شده است و احتمالا به همین دلیل اثر آن بیشتر از تیمار سکوسترین آهن شده باشد. موادآلی از جمله زغال‌زیستی پتانسیل بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را دارند که منجر به تحرک و فراهمی بیشتر آهن می‌شود (۴۳). ساپادیت و همکاران (۳۹) گزارش دادند افزودن زغال‌زیستی به خاک تحت کشت سویا خصوصیات شیمیایی و فراهمی عناصر خاک را افزایش می‌دهد.

شاخص کلروفیل: زغال‌های‌زیستی اشباع شده با آهن اثر معنی‌داری بر شاخص کلروفیل برگ‌های بالایی (جوان) و پایینی (مسن) گیاه داشتند (شکل ۴). شاخص کلروفیل در برگ‌های بالایی در تمام تیمارهای مختلف کودی به غیر از تیمارFe-IWB2، در رقم سامان بیشتر از رقم ویلیامز بود. همچنین روند رشد این شاخص در تیمارهای زغال‌زیستی گندم در رقم ویلیامز بیشتر از رقم سامان بود. این امر می‌تواند حکایت از حساسیت بیشتر رقم ویلیامز به کمبود آهن باشد. بیشترین مقدار این شاخص برای رقم سامان در تیمارهای Fe-IPB2 (۶۱٪) و Fe-IWB2 (۵۴٪) بود که بطور معنی‌داری بیشتر از مقادیر آن‌ها در تیمار C و حتی تیمار S (۱۸٪) بود و کمترین مقدار این شاخص در تیمار C مشاهده شد. در مقابل، رقم ویلیامز بیشترین مقدار شاخص کلروفیل را در تیمار Fe-IWB2 داشت. بطور کلی با افزایش میزان استفاده از زغال‌های‌زیستی اشباع شده با آهن میزان شاخص کلروفیل برگ‌های بالایی در هر دو رقم سویا افزایش یافت و علائم کلروز آهن در این برگ‌ها کاهش یافتند (شکل ۴-الف). افزایش شاخص کلروفیل در تیمار سکوسترین آهن می‌تواند ناشی از تأمین آهن باشد. ولی این افزایش بویژه در برگ‌های بالایی گیاه در تیمارهای زغال‌زیستی احتمالاً می‌تواند علاوه بر فراهمی آهن (اثر مستقیم، جدول ۲ و شکل ۳) ناشی از بهبود خصوصیات فیزیکی (نگهداری رطوبت بالا و کاهش چگالی ظاهری)، شیمیایی (افزایش ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی (جدول ۲) و کاهش هدر رفت عناصر غذایی) و زیستی (افزایش رشد جمعیت میکروبی) خاک باشد. به این موارد در تحقیقات دیگران نیز اشاره شده است (۶، ۲۳ و ۳۵). بیشترین شاخص کلروفیل برگ‌های پایینی برای هردو رقم سامان و ویلیامز در سطح ۲/۵٪ زغال‌زیستی اشباع شده گندم و سطح سکوسترین آهن بود. بقیه سطوح کودی (زغال‌های‌زیستی) اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴-ب). همچنین مقدار این شاخص در برگ‌هایی بالایی کمتر از مقدار آن در برگ‌های پایینی گیاه بود که علایم ظاهری این برگ‌ها در شکل ۵ نیز می‌تواند مؤید آن باشد.



شکل ۳- اثر متقابل رقم و کود بر غلظت آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین خاک بعد از برداشت گیاه

(میانگین‌های با حروف مشابه روی ستون‌ها در سطح LSD 5% معنی‌دار نیست)

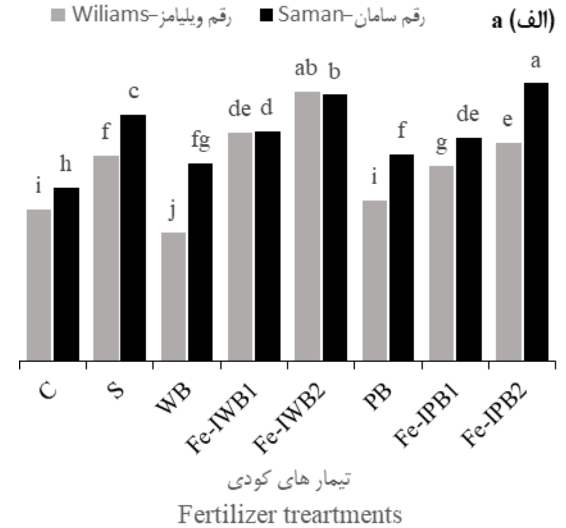
Figure 3- Interactive effect of variety and fertilizer on soil hydroxylamine extractable Fe concentration after harvesting

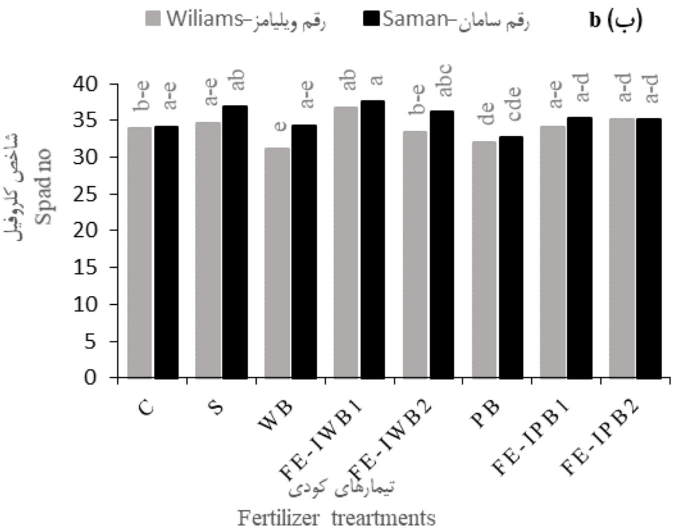
(Means for columns followed by the same letters are not significant at LSD, P=0.05)

علائم کمبود آهن نخست در برگ‌های جوان نمایان می‌شود زیرا آهن در گیاه پویا نیست و در این برگ‌ها زردی بین رگبرگی توسعه می‌یابد و در حالت کمبود شدید سریعاً به کل سطح برگ توسعه می‌یابد (۲۴ و ۴۱). بنابراین، برای تعیین وضعیت تغذیه‌ای آهن در گیاه تجزیه برگ‌های پایینی و پیر مناسب نیست و برگ‌های بالایی و جوان باید نمونه برداری و تجزیه شوند. گاویلی و همکاران (۱۲)، گزارش کردند مصرف ۲/۵ و ۵ درصد زغال‌زیستی شاخص کلروفیل‌متری گیاه سویا را به ترتیب ۱۴ و ۲۰ درصد نسبت به مقدار آن در خاک شاهد افزایش داد. زغال‌زیستی اثر مثبتی روی میزان کلروفیل و پارامترهای مرتبط با آن دارد، از جمله افزایش فعالیت فتوسیستم دو (PS II) و تسهیل انتقال الکترون که باعث افزایش کل شاخص فتوسنتز می‌شود (۲۲).

غلظت و جذب آهن فعال برگ: پاسخ دو رقم سویا از نظر غلظت آهن فعال در برگ‌های بالایی در سطوح مختلف تیمارهای کودی متفاوت بود بطوری‌که رقم ویلیامز با افزایش سطوح زغال‌زیستی نئوپان روند افزایشی تندتری نشان داد در حالی که غلظت آهن فعال برگ بالایی رقم سامان در سطوح مختلف زغال‌زیستی گندم روند رشد تندتری نشان داد (شکل ۶-الف). همچنین غلظت آهن فعال در رقم ویلیامز بطورکلی کمتر از رقم سامان در تمام سطوح کودی بود که احتمالا به حساسیت بیشتر رقم ویلیامز به کمبود آهن و تفاوت ساختار ژنتیکی این دو رقم بر می‌گردد. رقم سامان بیشترین غلظت آهن فعال برگ بالایی را در تیمارهای Fe-IWB2، Fe-IPB2 و S داشت و رقم ویلیامز در تیمار Fe-IWB2 بیشترین مقدار آن را نشان داد. غلظت آهن فعال برگ‌های بالایی در هر دو رقم سویا با افزایش میزان مصرف زغال‌های‌زیستی اشباع شده با آهن افزایش یافت. افزایش غلظت آهن فعال برگ بالایی در هردو رقم در تیمارهای سکوسترین و زغال‌های‌زیستی می‌تواند بدلیل افزایش فراهمی آهن در خاک (شکل ۳ و با توجه به کمبود آهن در خاک مورد آزمایش، جدول ۱) و در نتیجه جذب بیشتر آهن بوده باشد.

رمضانی و همکاران (۳۲)، گزارش کردند زغال‌زیستی به همراه آهن باعث افزایش شکل احیایی آهن در خاک و در نتیجه باعث افزایش غلظت آهن در گیاه می‌شود. میان غلظت آهن فعال برگ‌های بالایی در تیمارهای WB و PB با تیمار C در هر دو رقم سویا تفاوت معناداری وجود نداشت. غلظت کم آهن فعال برگ‌های بالایی در تیمارهای زغال‌زیستی اشباع نشده احتمالا می‌تواند به‌دلیل سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالای زغال‌زیستی (جدول ۲) باشد که آهن خاک را بطور محکم جذب خود کرده است. گزارش‌هایی در این زمینه در منابع وجود دارد برای مثال سورنتی و همکاران (۳۷) گزارش کردند با افزایش میزان مصرف زغال‌زیستی به تنهایی در خاک غلظلت آهن، منگنز، مس، روی در ساقه کیوی کاهش می‌یابد، آن‌ها دلیل این کاهش غلظت عناصر کم مصرف را به قدرت بالای جذب فلزات توسط زغال‌زیستی نسبت دادند.



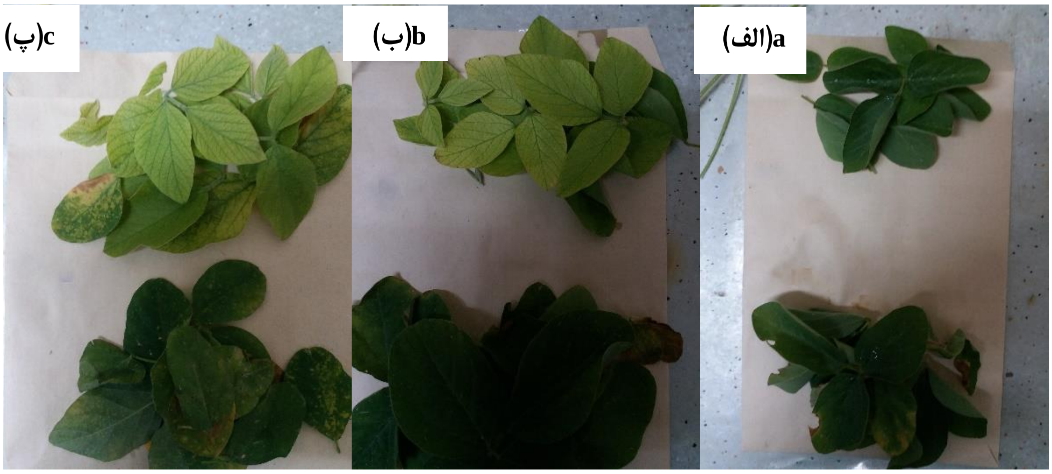


شکل ۴- اثر متقابل رقم و کود بر شاخص کلروفیل سویا برگ‌های بالایی (الف) و برگ‌های پایینی (ب)

(میانگین‌های با حروف مشابه روی ستون‌ها در سطح LSD 5% معنی دار نیست)

Figure 4- Interactive effect of variety and fertilizer on spad no of soybean upper (a) and lower (b) leaves

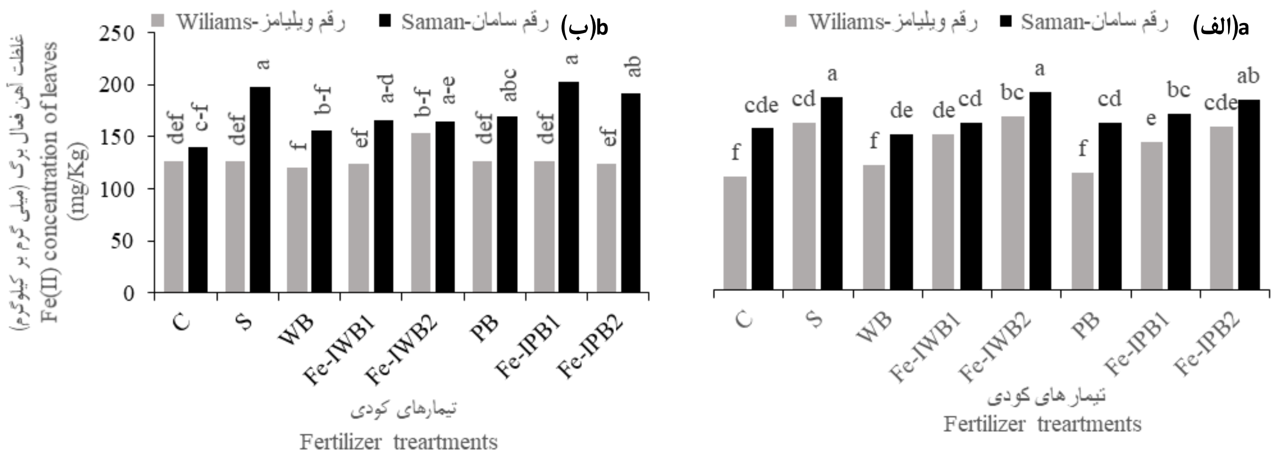
(Means for columns followed by the same letters are not significant at LSD, P=0.05)



شکل ۵- تصاویر برگ‌های بالایی و پایینی سویا در تیمار زغال‌زیستی اشباع شده با آهن کاه‌گندم ۵٪ وزنی (الف)، تیمار زغال‌زیستی کاه گندم (ب) و تیمار شاهد (پ)

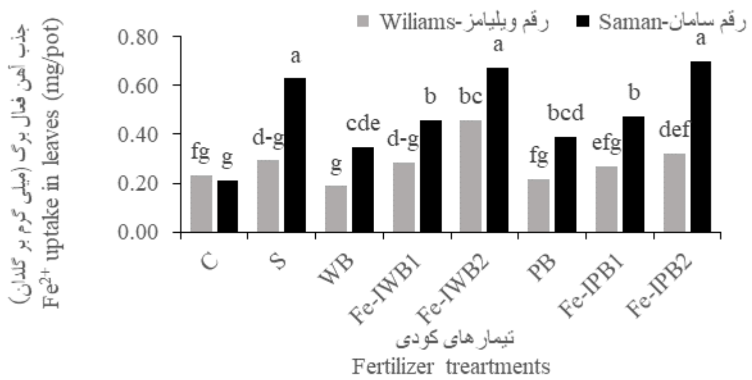
Figure 5- Images of Soybean upper and lower leaves at Fe impregnated wheat straw biochar 5% w/w (a), wheat straw biochar (b) and blank (c)

همچنین نتایج نشان داد که اثر متقابل کود و رقم بر غلظت آهن فعال برگ پایینی معنی‌دار نبود (شکل ۶-ب). با اینحال، غلظت آهن فعال برگ پایینی در رقم سامان بطورکلی بیشتر از رقم ویلیامز (زودرس و حساس) در تمام سطوح کودی بود و به دلیل پویایی ناچیز آهن در گیاه (۳۶)، غلظت آهن فعال در برگ‌های پایینی بیشتر از برگ‌های بالایی بود. نتایج حاصل از غلظت آهن فعال برگ با ظهور علائم کمبود آهن در برگ‌ها (شکل ۵) و شاخص کلروفیل‌متری (شکل ۴) مطابقت داشت. بروز کلروز آهن نتیجه کمبود آهن دو ظرفیتی است که برای سنتز کلروفیل ضروری است (۱۸). اغلب بین آهن کل در برگ‌ها و شدت کلروز همبستگی وجود ندارد (۳۰). رستمی و همکاران (۳۳) گزارش کردند که سنجش آهن فعال ارتباط خیلی بهتری با کلروز کمبود آهن دارد. از شاخص‌های مهم در پایه‌های متحمل به کلروز ناشی از کمبود آهن، داشتن سهم و نسبت بیشتر آهن فعال به آهن کل است که در فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاهان اهمیت دارد (۱۰). پاسخ دو رقم سویا از نظر جذب آهن فعال برگ در سطوح مختلف تیمارهای کودی متفاوت بود بطوریکه با افزایش سطوح کودی مقدار آن روند افزایشی نشان داد ولی روند افزایش آن در رقم سامان بسیار تندتر از روند افزایشی آن در رقم ویلیامز در تمام سطوح کودی بود. همچنین میزان جذب آهن فعال برگی در رقم ویلیامز بطورکلی کمتر از رقم سامان در تمام سطوح کودی بود که بیانگر حساسیت بیشتر رقم ویلیامز به کمبود آهن است (شکل ۷). هر دو رقم سویا بیشترین جذب آهن فعال را در تیمارهای Fe-IWB2، Fe-IPB2 و S و کمترین مقدار آن را در تیمار خاک شاهد C نشان دادند. اثر تیمارهای کودی بر مقادیر جذب آهن فعال برگی به‌ترتیب به صورت تیمارهای Fe-IWB2 و Fe-IPB2≈ S > Fe-IWB1 و Fe-IPB1 > WB و PB بود. رقم ویلیامز در تیمارهای زغال‌زیستی گندم جذب آهن فعال برگی بیشتری از تیمارهای زغال‌زیستی نئوپان داشت ولی در رقم سامان تفاوت فاحشی مشاهده نشد. جذب آهن همانطور که انتظار می‌رفت بدلیل افزایش فراهمی آهن (شکل ۳) در نتیجه مصرف سکوسترین آهن و زغال‌های‌زیستی بویژه شکل اشباع شده آن‌ها که در بخش‌های بالا نیز بحث شد، افزایش یافته است. البته جذب آهن در تیمارهای زغال‌زیستی ۵ درصد اشباع شده در رقم سامان (بطور جزئی) و بویژه رقم ویلیامز (معنادار) بیشتر از تیمار سکوسترین آهن بوده است. این امر احتمالا علاوه بر فراهمی بیشتر آهن به دلیل بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک برای رشد گیاه در تیمارهای زغال‌زیستی، بوده باشد. همچنین پ. هاش زغال‌های‌زیستی بویژه نئوپان اندکی اسیدی (جدول ۲) می‌باشد که می‌تواند موجب بهبود فراهمی آهن در این تیمارها شده باشد. علاوه بر خصوصیات زغال‌زیستی، اثرات متقابل آن‌ها با اقلیم، وضعیت حاصلخیزی خاک، و نوع خاک باعث می‌شوند تا چگونگی تاثیر زغال‌زیستی بر مکانیسم جذب را با قاطعیت ندانیم (۳). علاوه بر این، بیدرمن و هارپول (۳) تاکید کردند که رنگ تیره زغال‌زیستی دینامیک حرارتی گیاه و خاک را تغییر می‌دهد که ممکن است روی جذب عناصر تأثیر بگذارند. زغال‌زیستی می‌تواند چگالی ظاهری خاک را کاهش دهد که منجر به افزایش رشد و نفوذ ریشه در خاک می‌شود که باعث افزایش جذب عناصر غذایی از محلول خاک می‌شود (۱۹). علاوه بر این، زغال‌زیستی قابلیت نفوذپذیری آب و نگهداری آن را افزایش می‌دهد (۱)، بنابراین، افزایش آب در دسترس در خاک سبب تاثیر مستقیم بر جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود. ظرفیت تبادل کاتیونی زغال‌زیستی پارامتر مهم دیگر است که ممکن است موجب تغییرات در جذب عناصر غذایی شود (۱۳).



شکل ۶- اثر متقابل رقم و کود بر غلظت آهن فعال برگ بالایی (الف) و برگ پایینی (ب)

Figure 6- Interactive effect of variety and fertilizer on Fe(II) concentration of upper (a) and lower (b) leaves



شکل ۷- اثر متقابل رقم و کود بر جذب آهن فعال برگ

(میانگین‌های با حروف مشابه روی ستون‌ها در سطح LSD 5% معنی‌دار نیست)

Figure 7- Interactive effect of variety and fertilizer on Fe (II) uptake in leaves

(Means for columns followed by the same letters are not significant at LSD, P=0.05)

روابط میان پارامترهای انـدازه گیـری شـده: بـا توجـه بـه معادلات رگرسیونی مندرج در جدول ۳، غلظـت آهـن فعـال بـرگ بـا میزان شاخص کلروفیل برگ بالایی (**r=۰/۸۸) و وزن خشک سویا (**r=۰/۸۷) همبسـتگی مثبـت معنـی‌داری نشـان داد. همچنـین همبستگی مثبت معنی‌داری بین میزان شاخص کلروفیل‌متـری و وزن خشک سویا (**r=۰/۹۰) وجود داشت. همبستگی بالای بین شاخص کلروفیل برگ‌های بالایی با غلظت آهن فعال به خوبی نشان می‌دهـد که کلروفیل متر به عنوان یک روش سریع، آسـان و ارزان قیمـت در تعیـین وضـعیت تغذیـه آهـن در گیـاه مـی‌توانـد بکـار گرفتـه شـود. کوسی‌اوغلو و آچیک‌گوز (۱۷) نیز معتقدند که شاخص کلروفیل معیـار قابل اعتمادی برای سنجش درجه کلروز و آهن فعال در گیاهان است. همچنین در برگ‌های سبز، غلظـت آهـن فعـال بیشـتر از بـرگ‌هـای کلروزه می‌باشد و میزان کلروفیل با آهن فعال برگ در مقایسه با آهن کـل دارای همبسـتگی بیشـتری اسـت (۱۵ و ۱۷). همبسـتگی وزن خشک گیاه با آهن فعال و شاخص کلروفیل برگ بیان می‌کند کـه بـا افزایش مقدار جذب آهن میزان کلروفیل گیاه افزایش می‌یابـد کـه بـا افزایش عملکرد ماده خشک همراه است. در مطالعات انجام شده دیگر نیز گزارش شده است گیاهانی که دچار کمبود آهن می‌باشند به علـت عدم تولید کلروفیل کافی عمل فتوسنتز را به طور کامل انجـام نـداده در نتیجه رشد و عملکرد کاهش می‌یابد (۲۶).

جدول ۳- روابط میان غلظت آهن فعال و شاخص کلروفیل برگ‌های بالایی و وزن خشک سویا

Table 3- Relationships among Fe (II) concentration and spad no of upper leaves, and soybean dry weight

معادله Equation	ضریب تبیین (R^2)
SpU = 0.32 FeaU - 3.95	0.77^{**}
DWt = 0.10 FeaU - 2.80	0.75^{**}
DWt = 0.27 SpU - 0.99	0.81^{**}

*، ** و ns به‌ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و عدم تفاوت معنی‌دار است.

*, ** and ns i.e. statistical significant at *P*. values 0.05 and 0.01, and not significant, respectively.

FeaU= غلظت آهن (II) برگ‌های بالایی؛ SpU= شاخص کلروفیل برگ‌های بالایی؛ DWt= وزن خشک

FeaU= Fe II conc. of upper leaves; SpU= Spad no of upper leaves; DWt= total dry weight

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مصرف زغال‌زیستی اشباع نشده در سطح ۲/۵٪ (تیمارهای WB و PB) به دلیل جذب شدید آهن خاک اثر قابل ملاحظه‌ای بر غلظت و جذب آهن فعال و شاخص کلروفیل گیاه نداشت ولی با مصرف زغال‌زیستی اشباع‌شده با آهن (Fe-IWB1 و Fe-IPB1) و افزایش میزان مصرف آن‌ها (Fe-IWB2 و Fe-IPB2)، آهن قابل استخراج با هیدروکسیل آمین خاک، غلظت و جذب آهن فعال و شاخص کلروفیل گیاه افزایش معنادار و کلروز برگی گیاه نیز کاهش یافت. از طرف دیگر مصرف مقادیر بالای زغال‌زیستی (و سکوسترین آهن) از نظر اقتصادی شاید مقرون به صرفه نباشد و اشباع یا غنی سازی آنها با عناصر غذایی می‌تواند راه کار مناسبی برای کاهش مقدار مصرف آن باشد. بنابراین، مصرف زغال‌زیستی اشباع شده با آهن، می‌تواند رهیافت امیدبخشی برای رفع کلروز آهن در گیاهان حساس بویژه سویا در خاک‌های آهکی باشد.

منابع

1- Asai H., Samson B.K., Stephan H.M., Songyikhangsuthor K., Homma K., Kiyono Y., Inoue Y., Shiraiwa T., and Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research 111: 81-84.

2- Bavaresco L., Giachino E., and Colla R. 1999. Iron chlorosis paradox in grapevine. Journal of Plant Nutrition 22: 1589-1597.

3- Biederman L.A., and Harpole W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a metal analysis. GCB Bioenergy 5: 202-214.

4- Bruun E.W., Hauggaard-Nielsen H., Ibrahim N., Egsgaard H., Ambus P., Jensen P.A., and Dam-Johansen K. 2011. Influence of fast pyrolysis temperature on biochar labile fraction and short-term carbon loss in a loamy soil. Biomass and Bioenergy 35: 1182-1189.

5- Cantrell K.B., Hunt P.G., Uchimiya M., Novak J.M., and Ro K.S. 2012. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. Bioresource Technology 107: 419-428.

6- Chan K.Y., Zwieten L.V., Meszarost L., Downie A., and Joseph S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian Journal of Soil Research 46(3): 437-444.

7- Chen Y., and Barak P. 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. In Advances in agronomy (35: 217-240). Academic Press.

8- Cheng C.H., Lehmann J., Thies J.E., Burton S.D., and Engelhard M.H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Organic Geochemistry 37: 1477-1488.

9- De Santiago A., and Delgado A. 2006. Predicting iron chlorosis of lupin in calcareous Spanish soils from iron extracts. Soil Science Society of America Journal 70: 1945-1950.

10- Díaz I., Del Campillo M.C., Cantos M., and Torrent J. 2009. Iron deficiency symptoms in grapevine as affected by the iron oxide and carbonate contents of model substrates. Plant and Soil 322: 293-302.

11- Gaskin J.W., Steiner C., Harris K., Das K.C., and Bibens B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE 51: 2061-2069.

12- Gavili E., Moosavi A.A., and Haghighi A.A.K. 2019. Does biochar mitigate the adverse effects of drought on the agronomic traits and yield components of soybean? Industrial Crops and Products 128: 445-454.

13- Gunarathne V., Mayakaduwa S., and Vithanage M. 2017. Biochar’s Influence as a Soil Amendment for Essential Plant Nutrient Uptake. In Essential Plant Nutrients (pp. 47-67). Springer, Cham.

14- Jiang T.Y., Jiang J., Xu R.K., and Li Z. 2012. Adsorption of Pb (II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar. Chemosphere, 89:249-256.

15- Katyal J.C., and Sharma B.D. 1980. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. Plant and

Soil, 55:105-119.
16- Keiluweit M., Nico P.S., Johnson M.G., and Kleber M. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). Environmental Science and Technology 44: 1247-1253.
17- Köseoğlu A.T., and Açikgöz V. 1995. Determination of iron chlorosis with extractable iron analysis in peach leaves. Journal of Plant Nutrition 18: 153-161.
18- Ksouri R., Gharsalli M., and Lachaal M. 2005. Physiological responses of Tunisian grapevine varieties to bicarbonate-induced iron deficiency. Journal of Plant Physiology 162(3): 335-341.
19- Lehmann J., and Joseph S. 2015. Biochar for environmental management: science and technology and Implementation. 2nd ed. Rouledge, London Sterling,VA, UK. 944p.
20- Lehmann J., Gaunt J., and Rondon M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems–a review. Mitigation and adaptation strategies for Global Change 11: 403-427.
21- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. Soil science society of America Journal 42: 421-428.
22- Lyu S., Du G., Liu Z., Zhao L., and Lyu D. 2016. Effects of biochar on photosystem function and activities of protective enzymes in *Pyrus ussuriensis* Maxim. under drought stress. Acta Physiologiae Plantarum 38: 220.
23- Major J., Rondon M., Molina D., Riha S.J., and Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil 333: 117-128.
24- Marschner H. 1996. Mineral nutrition of higher plants. Wiley Online Library.
25- Méndez A., Gómez A., Paz-Ferreiro J., and Gascó G. 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. Chemosphere 89: 1354-1359.
26- Miller G.W., Pushnik J.C., and Welkie G.W. 1984. Iron chlorosis, a worldwide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. Journal of Plant Nutrition 7:1-22.
27- Novak J.M., Busscher W.J., Laird D.L., Ahmedna M., Watts D.W., and Niandou M.A. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil Science 174: 105-112.
28- Oviedo C., and Rodríguez J. 2003. EDTA: the chelating agent under environmental scrutiny. Quimica Nova, 26:901-905.
29- Pastorova I., Botto R.E., Arisz P.W., and Boon J.J. 1994. Cellulose char structure: a combined analytical Py-GC-MS, FTIR, and NMR study. Carbohydrate Research 262: 27-47.
30- Pestana M., de Varennes A., and Faria E.A. 2003. Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: A review. Journal of Food Agriculture and Environment 1(1): 46-51.
31- Qiao Y., Wu J., Xu Y., Fang Z., Zheng L., Cheng W., Tsang E.P., Fang J., and Zhao D. 2017. Remediation of cadmium in soil by biochar-supported iron phosphate nanoparticles. Ecological Engineering 106: 515-522.
32- Ramzani P.M.A., Khalid M., Naveed M., Ahmad R., and Shahid M. 2016. Integrating the organic amendment with iron fertilization for improving productivity and Fe biofortification in rice under acidified calcareous soil. Pakistan Journal of Agricultural Sciences 53: 407-417.
33- Rostami R., Ershadi A., and Sarikhani H. 2015. Evaluation of peach, bitter almond, GF677 and GN15 rootstocks for bicarbonate or iron deficiency-induced chlorosis. Journal of Crops Improvement 17(2): 341-355. (In Persian with English Abstract)
34- Samsuri A.W., Sadegh-Zadeh F., and Seh-Bardan B.J. 2013. Adsorption of As (III) and As (V) by Fe coated biochars and biochars produced from empty fruit bunch and rice husk. Journal of Environmental Chemical Engineering 1: 981-988.
35- Schultz H., Dunst G., and Glaser B. 2013. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. Agronomy for Sustainable Development 33(4): 817-827.
36- Song W., and Guo M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 94: 138-145.
37- Sorrenti G., Masiello C.A., and Toselli M. 2016. Biochar interferes with kiwifruit Fe-nutrition in calcareous soil. Geoderma 272:10-19.
38- Sun Y., Gao B., Yao Y., Fang J., Zhang M., Zhou Y., Chen H., and Yang L. 2014. Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. Chemical Engineering Journal 240:574-578.
39- Suppadit T., Phumkokrak N., and Poungsuk P. 2012. The effect of using quail litter biochar on soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) production. Chilean Journal of Agricultural Research 72: 244.
40- Tagoe S.O., Horiuchi T., and Matsui T. 2008. Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. Plant and Soil 306: 211-220.
41- Tisdale S., Nelson W., Havlin J., and Beaton J. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 503 p.
42- Treeby M., Marschner H., and Römheld V. 1989. Mobilization of iron and other micronutrient cations from a calcareous soil by plant-borne, microbial, and synthetic metal chelators. Plant and Soil 114: 217-226.
43- Xu G., Wei L.L., Sun J.N., Shao H.B., and Chang S.X. 2013. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism? Ecological Engineering 52: 119-124.
44- Yang X., Liu J., McGrouther K., Huang H., Lu K., Guo X., He L., Lin X., Che L., Ye Z., and Wang H. 2016. Effect of biochar on

the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. Environmental Science and Pollution Research 23: 974-984.
45- Yu X.Y., Ying G.G., and Kookana R.S. 2009. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil. Chemosphere 76: 665-671.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 409-422

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۲۲-۴۰۹

The Ability of Iron-Impregnated Biochar in the Supply of Iron and Correction of Soybean Iron Chlorosis in a Calcareous Soil

J. Khallizadeh[1]- E. Dordipour[2*]- M. Baranimotlagh[3]- A.R. Gharanjiki[4]
Received: 29-07-2019
Accepted: 20-01-2020

Introduction: Iron deficiency is one of the most important nutritional disorders in plants, particularly in calcareous soils and deeply affects the yield and quality of the product. Due to the major role of iron in the synthesis of chlorophyll, chlorosis occurs in young leaves in deficiency conditions. In such condition, biochar can help to increase OM, soil fertility level, and iron use efficiency and, to reduce iron chlorosis. The aim of this study was to investigate the effect of iron- impregnated biochar on the availability of iron and the elimination of soybean iron chlorosis in a calcareous soil.

Materials and Methods: Calcareous soil with iron deficiency (0-30 cm) was collected from the east of Golestan province and prepared for cultivation. Two types of biochar were produced from wheat straw and particleboard through slow pyrolysis (increasing 5 °C/min) at 300 °C for 2 hours under restricted oxygen conditions in an electric furnace, and then impregnated with iron sulfate solution. FTIR spectra and SEM images of biochars surfaces were also provided. A pot experiment was conducted as a factorial based on a completely randomized design with four replications. Factors were biochars (wheat straw biochar (WB) and particleboard biochars (PB) each one with 2.5% w/w), iron impregnated biochars (Fe impregnated wheat straw biochar 2.5% w/w (Fe- IWB1) and 5% w/w (Fe-IWB2), 2.5% w/w (Fe-IPB1) and 5% w/w (Fe-IPB2) Fe impregnated particleboards, Fe- Sequestrene (S) and control without Fe and biochar (C), and two soybean cultivars (Williams and Saman). The sown pots were maintained near the field capacity for 12 weeks. Then, SPAD numbers, concentration and uptake of active iron in young and senile leaves and active iron content in soil were determined after harvest.

Results and Discussion: With increasing application of iron impregnated biochar, active iron content increased in the soil. SPAD numbers of the upper leaves of both soybean cultivars in Fe impregnated biochars were significantly higher than those of non-impregnated biochars and control treatments ($P \leq 0.05$). Iron chlorosis symptoms in soybeans decreased following the increased application of Fe impregnated biochars, consequently, there were no iron chlorosis symptoms in 5% Fe impregnated biochar treatments. Also, the active iron concentration of the upper leaves and the amount of leaf active iron uptake significantly increased as a result of Fe impregnated biochars application in both soybean cultivars compared to control and non-impregnated biochars ($P \leq 0.05$). The highest concentration of active iron in upper leaves was observed in 5% w/w Fe impregnated biochars treatments, but its value for cultivar Williams in Fe impregnated wheat biochar was higher than that in Fe impregnated particleboard biochar. The results of the SEM images indicated that wheat biochar had more quantity of and fine pores (also CEC) than that of the particleboard biochar, and the surface areas of both biochars were rough and dark after impregnation with iron, indicating the adsorption or accumulation of iron at their surfaces. Also, there was a significant positive correlation between the active iron concentration with SPAD numbers in the upper leaves (r = 0.88 **) and dry weight of soybean shoots (r = 0.87 **). Cultivars responses to Fe impregnated biochars showed that iron uptake and active iron concentration in the upper leaves of Williams variety were significantly less than those of Saman variety at both levels of Fe impregnated biochars ($P \leq 0.05$), which indicates that cultivar Williams is more susceptible to the iron chlorosis. The results of this experiment and reports from other studies show that the application of impregnated biochars from nutrients besides increasing SOM, permeability and soil moisture, CEC and soil fertility level, also increases the acquisition and use efficiency of iron in the plant.

Conclusion: The results of this study showed that due to the strong adsorption of soil iron, non-impregnated biochar application in the level of 2.5% had no significant effect on the concentration and uptake of active iron

1, 2 and 3- M.Sc. Student and Associate Professors, Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, respectively.
(*- Corresponding Author Email: e.dordipour@yahoo.com)
4- Assistant Professor, Cotton Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.81960

and spad numbers of the plant. However, using Fe impregnated biochar and increasing their application in calcareous soils with iron chlorosis resulted in a significant increase of active soil iron content, concentration and uptake of active iron and SPAD numbers of the plant, and, conversely, a decrease of leaf chlorosis. Therefore, besides improving the physical, chemical and biological properties of the soil, the application of Fe impregnated biochar can also be a promising approach to eliminate iron chlorosis in sensitive plants, particularly soybeans in calcareous soils.

Keywords: Biochar, Chlorosis, Impregnation, Iron, Soybean